

УДК 519.86

DOI [https://doi.org/10.24144/2616-7700.2024.44\(1\).155-167](https://doi.org/10.24144/2616-7700.2024.44(1).155-167)**І. В. Поліщук<sup>1</sup>, Б. В. Дурняк<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ДВНЗ «Ужгородський національний університет»,  
асистент кафедри програмного забезпечення систем,  
[inna.polishchuk@uzhnu.edu.ua](mailto:inna.polishchuk@uzhnu.edu.ua)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6395-4744>

<sup>2</sup> Української академії друкарства, Львів,  
ректор,  
доктор технічних наук, професор  
[durnyak@uad.lviv.ua](mailto:durnyak@uad.lviv.ua)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1526-9005>

## МОДЕЛЬ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ДОЦІЛЬНОСТІ ФІНАНСУВАННЯ У РОЗВИТОК ТУРИСТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Проведено дослідження актуальної задачі розроблення моделі підтримки прийняття рішень щодо доцільності фінансування у розвиток туристичної інфраструктури, на основі прогнозованої оцінки рівня туристичного руху відносно інфраструктури та доступності досліджуваних регіонів, думок експертів щодо рівня якості туристичних послуг та розвитку туризму, а також міркуваннях експертів стосовно перспектив швидкого зростання туристичного руху в регіоні.

В основу дослідження покладений сучасний математичний апарат, а саме теорія нечітких множин, регресійний аналіз, системний підхід, інтелектуальний аналіз знань та нейро-нечіткі мережі, що в сукупності дозволяють підвищити ступінь обґрунтованості остаточних управлінських рішень.

Цінність моделі є те, що вона з одного боку поєднує кількісні прогнозовані оцінки рівня туристичного руху відносно інфраструктури та доступності досліджуваних регіонів, отримані за допомогою аналізу реальних даних, а з іншого, експертні висновки щодо рівня якості туристичних послуг та перспектив швидкого зростання туристичного руху в регіоні.

На основі вихідної оцінки підвищується ступінь обґрунтованості прийняття управлінських рішень щодо доцільності фінансування інвесторами у розвиток туристичної інфраструктури, вибору найкращої комбінації регіонів, наприклад для мережевого бізнесу, або органам державної влади щодо підтримки окремих регіонів для зменшення розриву розвитку туризму.

Подальше дослідження проблематики вбачаємо в розробленні програмного забезпечення у вигляді веб-платформи, на основі розробленої моделі підтримки прийняття рішень щодо доцільності фінансування у розвиток туристичної інфраструктури.

**Ключові слова:** гібридна модель, прийняття рішень, багатокритеріальне оцінювання, нечіткі множини, туристична інфраструктура, сталий розвиток регіонів.

**1. Вступ.** Розвиток туризму може внести суттєвий внесок у економіку. При правильному фінансуванні інфраструктури можна привертати більше туристів, що сприяє зростанню доходів для місцевого бізнесу і збільшує податкові надходження. Розвиток туристичної інфраструктури часто супроводжується створенням нових робочих місць у сфері готельного господарства, ресторанного бізнесу, транспортних послуг і т.д. Крім цього, інвестиції в туристичну інфраструктуру можуть покращити імідж регіону як туристичного напрямку, що привертає увагу туристів та інвесторів. Правильно спроектована інфраструктура може допомагати зберігати та охороняти природні та культурні ресурси

регіону. Покращення інфраструктури, яка задовольняє потреби туристів, часто також призводить до поліпшення якості життя місцевого населення через нові можливості та послуги.

У зв'язку з вище наведеним, представлено наукове дослідження, що спрямоване на підтримку прийняття рішень щодо доцільності фінансування у розвиток туристичної інфраструктури в регіонах, на прикладі Закарпатської, Львівської та Івано-Франківської областях. Математична модель базується на прогнозній аналітиці, поєднує кількісні дані з експертними висновками та використовує сучасний інструмент нейро-нечітких мереж. У дослідженні визначається кількісна оцінка рівня щодо доцільності фінансування у розвиток туристичної інфраструктури регіонів, із застосуванням теорії нечітких множин, регресійного аналізу, системного підходу, інтелектуального аналізу знань та нейро-нечітких мереж. Дослідження було проведене на реальних експертних даних, що дало можливість налаштувати розроблену модель із застосування навчання нейро-нечіткої мережі.

Основною метою даного дослідження є розроблення моделі підтримки прийняття рішень щодо доцільності фінансування у розвиток туристичної інфраструктури, на основі прогнозованої оцінки рівня туристичного руху відносно інфраструктури та доступності досліджуваних регіонів, думок експертів щодо рівня якості туристичних послуг та розвитку туризму, а також міркуваннях експертів стосовно перспектив швидкого зростання туристичного руху в регіоні.

**2. Огляд літератури.** В період отримання та обробки інтелектуальних знань, постає задача формалізації думок експертів, щодо певного об'єкту дослідження. Відсутні універсальні способи перетворення дослідних людських експертних знань у базу знань систем нечіткого виведення. Системи нечіткого виведення можуть використовувати людські експертні знання та виконувати нечітке виведення для отримання вихідної оцінки [1]. Також існує потреба в розробці методів навчання для отримання вихідної оцінки з необхідним рівнем точності [2]. Тому нейро-нечіткі мережі широко застосовуються в різних сферах та прикладних задачах [3]. Вони поєднують нейронні мережі для навчання процесів з експертними (суб'єктивними) міркуваннями для обробки нечіткої інформації. Крім того, механізм навчання нейронних мереж не покладається на людську експертизу, а через однорідну структуру нейронних мереж складно витягти структуровані знання [4].

У роботі [5] вказують на складність процесів прийняття рішень у сфері туризму через різні інституційні та географічні рамки, а також політику, що створює макросередовище туристичних систем. Це вимагає залучення експертних груп до розробки систем підтримки прийняття рішень, які б уможливили аналізувати асиметричні напрями соціально-економічного розвитку досліджуваних регіонів.

Також Резвані та ін. [6] звертають увагу на сильну неоднорідність проблем прийняття рішень у туристичній галузі та досліджують можливість усунення ризику в процесах прийняття рішень у сфері природного туризму. Автори тестують відповідні процеси прийняття рішень з урахуванням різних ступенів ризику, щоб допомогти менеджерам з оптимальними процесами розподілу ресурсів.

У роботі [7] наголошують на необхідності вивчення різних демографічних профілів туристів у підготовці платформи даних, необхідної для розробки систем прийняття рішень. Результати їхнього аналізу підтвердили значні відмінності між когортами поколінь у сферах використання інформаційних-комунікаційних технологій, а також у підходах до ризиків.

Стилос у роботі [8] звертає увагу на те, що технологічний прогрес сприяє розробці нових додатків, наприклад штучного інтелекту, але одночасно з цим розвитком також необхідно створити нові теоретичні основи, які б підтверджували роль когнітивних теорій. На думку авторів, їхня позиція зараз дуже слабка.

Критичний аналіз і синтез міждисциплінарної літератури також необхідні для підтримки розробки нових систем, методів і моделей, що використовуються в стратегічних процесах. Тому автори у роботі [9] досліджували стратегічні процеси в туристичному маркетингу та їх складність. На думку авторів, результати аналізу економічних наслідків подій також повинні бути впроваджені в процеси прийняття рішень. Це також висуває вимоги до конкретної бази даних і підтримує створення інноваційних методологій.

Багатокритеріальні процеси прийняття рішень представляють собою виклик для впровадження інноваційних методологій, розроблених на основі конкретних заходів, реалізованих у туристичних дестинаціях. Через це, у роботі [10] критикується обмеження результатів від використання багатокритеріальних методів прийняття рішень, якщо вони застосовуються традиційними процесами. Доведений факт, що стандартизовані показники важливі для порівняльного аналізу та створення рейтингів країн, регіонів, населених пунктів, напрямків, але в індивідуалізованих процесах прийняття рішень на основі специфіки регіонів та інвестиційних планів необхідно залучати якісні оцінки експертів. Вони володіють найбільшими знаннями та досвідом із галузевою специфікою, що виключає ризики на різних аналітичних рівнях.

Таким чином, наведене вище, аргументує та підтверджує актуальність розробки моделей підтримки прийняття рішень щодо доцільності фінансування у розвиток туристичної інфраструктури.

**3. Матеріали та методи.** Формально модель підтримки прийняття рішень щодо доцільності фінансування у розвиток туристичної інфраструктури, описується у вигляді теоретико-множинної моделі наступним чином:

$$\{R, C, M_1, M_2, M_3|f\}. \quad (1)$$

Де маємо:  $R = \{R_1; R_2; \dots; R_m\}$  — множина регіонів, по яких буде оцінюватись рівень доцільності фінансування у розвиток туристичної інфраструктури;  $C = \{c_1; c_2; \dots; c_n\}$  — множина учасників туристичного руху, що оцінювали рівень внутрішньої та зовнішньої інфраструктури у місці призначення, що відвідали у відповідному регіоні;  $M_1$  — модель прогнозування рівня туристичного руху для регіоні;  $M_2$  — гібридна нечітка модель оцінювання рівня якості туризму в регіоні;  $M_3$  — прогнозна модель оцінювання рівня доцільності фінансування у розвиток туристичної інфраструктури на основі нейро-мережевого підходу.

В результаті отримаємо вихідну оцінку  $f$  — кількісна оцінки рівня щодо доцільності фінансування у розвиток туристичної інфраструктури. Отриманий

рівень містить зміст доцільності фінансування інвесторами у розвиток туристичної інфраструктури, вибору найкращої комбінації регіонів для мережевого бізнесу, або органам державної влади щодо підтримки окремих регіонів для зменшення розриву розвитку туризму.

Оскільки поставлена задача з області підтримки прийняття рішень та експертного оцінювання, тоді вводяться наступні суб'єкти управління: експерт — це особа, що має досвід, знання та компетенції у туристичній галузі, його сучасного стану та перспектив розвитку; системний аналітик — це особа, яка збирає вхідні дані та налаштовує процеси оцінювання на основі запропонованих моделей; ОПР — це особи (інвестори, органи державної влади, місцеве самоврядування), що приймають подальші рішення стосовно доцільності фінансування проектів для розвитку туристичної інфраструктури.

*Модель прогнозування рівня туристичного руху вибраного регіону —  $M_1$ .*

Нехай у деякому вибраному регіоні  $R$  наявна можливість експертно оцінити рівень туристичного руху відносно інфраструктури та доступності в різні періоди  $\varepsilon_p$  ( $p = 1, 2, \dots, l$ ). Таке оцінювання авторами вже було проведене у попередньому дослідженні [11], яке дозволяє отримати вхідні агреговані оцінки  $m_R \in [0; 1]$ . Такі оцінки обумовлюють рівень задоволеності подорожі відносно очікуваного та реального досвіду, ґрунтуючись на реальних даних експертів та лінгвістичних критеріїв оцінювання рівня туристичного руху відносно інфраструктури та доступності туристичного руху. Вхідні агреговані оцінки  $m_R \in [0; 1]$ , отримуються за допомогою нечіткої моделі оцінювання рівня туристичного руху відносно інфраструктури та доступності в регіонах [11]. Не зменшуючи загальності, звісно, що можна застосувати й інші методи та моделі, які здатні оцінити рівень туризму в регіоні у різні періоди, а на виході отримуються нормовані оцінки  $[0; 1]$ .

Нехай наявні вхідні кількісні оцінки  $m_R(\varepsilon_1); m_R(\varepsilon_2); \dots; m_R(\varepsilon_l)$  рівня туристичного руху відносно інфраструктури та доступності деякого регіону  $R$  для різних років  $\varepsilon_1; \varepsilon_2; \dots; \varepsilon_l$ . У зв'язку з цим, маємо можливість прослідкувати динаміку та спрогнозувати рівень туристичного руху на майбутні періоди  $\varepsilon_{l+1}, \varepsilon_{l+2}, \dots$

Для цього пропонується парна лінійна регресія, що здатна спрогнозувати кількісну оцінку  $m_R$  рівня туристичного руху відносно інфраструктури та доступності деякого регіону  $R$  для майбутніх періодів. Рівняння парної лінійної регресії для даної задачі буде мати наступний вигляд [12]:

$$Y(\varepsilon) = a + b\varepsilon, \quad (2)$$

Значення коефіцієнтів  $a, b$  пропонується обчислювати методом найменших квадратів:

$$b = \frac{l \cdot \sum_{u=1}^l \varepsilon_u \cdot m_R(\varepsilon_u) - \sum_{u=1}^l \varepsilon_u \cdot \sum_{u=1}^l m_R(\varepsilon_u)}{l \cdot \sum_{u=1}^l (\varepsilon_u)^2 - \left( \sum_{u=1}^l \varepsilon_u \right)^2}, \quad (3)$$

$$a = \frac{1}{l} \sum_{u=1}^l m_R(\varepsilon_u) - b \cdot \frac{1}{l} \sum_{u=1}^l \varepsilon_u. \quad (4)$$

Підставляючи значення майбутнього періоду  $\varepsilon_{l+1}$  у рівняння (2) отримується вихідна прогнозована оцінка  $(m_R)_P = Y(\varepsilon_{l+1}) \in [0; 1]$  рівня туристичного руху відносно інфраструктури та доступності вибраного регіону  $R$ . На основі таких оцінок, можна прослідковувати динаміку та тренд рівня туристичного руху досліджуваного регіону. Маючи такі дані, ОПР може приймати проактивні рішення щодо підвищення якості туристичного руху.

Звісно дана модель не враховує різні непередбачувані ситуації та обмеження, наприклад пандемію COVID-19. Вона здатна оцінювати у безпечних умовах функціонування системи. Для оцінювання рівня керованості процесами у системі з врахуванням режимів функціонування можна використовувати інші нечіткі підходи.

*Гібридна нечітка модель оцінювання рівня якості туризму в регіоні —  $M_2$ .*

Пропонується гібридна нечітка модель, що базується на основі:

- 1) прогнозованого рівня  $(m_R)_P \in [0; 1]$  задоволеності подорожі відносно очікуваного та реального досвіду — рівень досвіду туристів;
- 2) міркувань експертів стосовно якості туризму у регіоні — рівень досвіду експертів.

На виході моделі отримується нормована кількісна оцінка рівня якості туризму вибраного регіону.

Формально модель представляється наступним чином. Нехай аналізується об'єкт із двома входами та одним виходом:

$$Y = X_R((m_R)_P, \Delta_R). \quad (5)$$

Де  $Y(X_R) = \Xi$  — вихідна нормована оцінка рівня якості туризму вибраного регіону; вхідні прогнозовані оцінки  $(m_R)_P$  рівня туристичного руху відносно інфраструктури та доступності вибраного регіону з інтервалу  $[0; 1]$ ;  $R$  — регіон оцінювання рівня туристичного руху;  $\Delta_R$  — лінгвістичні міркування експертів стосовно якості туристичних послуг та розвитку туризму в оцінюваному регіоні;  $X_R$  — оператор, що ставить у відповідність вихідну змінну  $Y$ , при вхідних змінних  $((m_R)_P, \Delta_R)$  для відповідного регіону.

Нехай існують деякі експерти в галузі туризму, які висловлюють свої лінгвістичні міркування  $\Delta$  щодо якості туристичних послуг та розвитку туризму для відповідного регіону. Для уніфікованих відповідей пропонується наступна терм-множина лінгвістичних змінних  $\Delta = \{\Delta_1; \Delta_2; \Delta_3; \Delta_4; \Delta_5\}$ , де:  $\Delta_1$  — «низький рівень якості туристичних послуг»;  $\Delta_2$  — «рівень якості туристичних послуг нижче середнього»;  $\Delta_3$  — «середній рівень якості туристичних послуг»;  $\Delta_4$  — «рівень якості туристичних послуг вище середнього»;  $\Delta_5$  — «високий рівень якості туристичних послуг».

Нехай терм-множина лінгвістичних змінних  $\Delta$  представлена на деякому числовому проміжку для розмежування термів  $[a_0; a_5] \in [0; 1]$ , де  $\Delta_1 \in [a_0; a_1]$ ,  $\Delta_2 \in [a_1; a_2]$ ,  $\Delta_3 \in [a_2; a_3]$ ,  $\Delta_4 \in [a_3; a_4]$ ,  $\Delta_5 \in [a_4; a_5]$ . Значення розбиття проміжків можуть налаштовуватись та змінюватись системними аналітиками за побажаннями ОПР.  $t_R$  — змінна з терм-множини  $\Delta$  для  $R_C$ -го регіону.

Далі обчислюється рівень якості туризму вибраного регіону на основі прогнозованої кількісної оцінки рівня, відносно інфраструктури та доступності, а також лінгвістичного рівня якості туристичних послуг та розвитку туризму в

регіоні, за допомогою наступної характеристичної функції:

$$\Xi_R = \begin{cases} a_1 \cdot (m_R)_P, & \text{якщо } t_R \in \Delta_1; \\ a_2 \cdot (m_R)_P, & \text{якщо } t_R \in \Delta_2; \\ a_3 \cdot (m_R)_P, & \text{якщо } t_R \in \Delta_3; \\ a_4 \cdot (m_R)_P, & \text{якщо } t_R \in \Delta_4; \\ a_5 \cdot (m_R)_P, & \text{якщо } t_R \in \Delta_5. \end{cases} \quad (6)$$

Таким чином, отримано вихідну кількісну оцінку  $\Xi_R \in [0; 1]$  рівня якості туризму деякого регіону  $R$ . Рівень якості у даному трактуванні розглядається відносно прогнозної аналітики рівня інфраструктури та доступності. Оцінка характеризується тим, що чим більше значення, тим краща інфраструктура, зовнішня та внутрішня доступність, з погляду учасників туристичного руху, а рівень якості туристичних послуг та розвитку туризму в регіоні — високий. На основі кількісної оцінки рівня якості туризму, можна аналізувати ситуацію у туристичній інфраструктурі, в розрізі регіонів, для прийняття рішень щодо доцільності покращення доступності, внутрішньої та зовнішньої інфраструктури з метою підвищення туристичного руху регіонів.

*Прогнозна модель оцінювання рівня доцільності фінансування у розвиток туристичної інфраструктури на основі нейро-мережевого підходу —  $M_3$ .*

Розроблено прогнозну модель оцінювання рівня доцільності фінансування у розвиток туристичної інфраструктури на основі нейро-мережевого підходу, яка з одного боку використовує кількісну оцінку рівня якості туризму деякого регіону, отриману на основі прогнозної аналітики, а з іншого боку використовує досвід, знання та компетенції експертів стосовно перспектив швидкого зростання туристичного руху в регіоні. Дане дослідження стосується процесу моделювання досвіду, знань та компетенції експертів для отримання кількісної оцінки рівня доцільності фінансування у розвиток туристичної інфраструктури на основі нейро-нечітких мереж.

Нехай маємо  $m$  регіонів дослідження  $R = \{R_1; R_2; \dots; R_m\}$ . Також наявні, кількісні нормовані оцінки рівня якості туризму в розрізі по регіонах  $\Xi_R = (\Xi_{R_1}, \Xi_{R_2}, \dots, \Xi_{R_m})$ .

Також використовуються міркування експертів, що аналізують політику деякого регіону стосовно можливості швидкого потенційного росту туристичного руху. Для цього, експерт (група експертів) аналізує ситуацію, на основі власного досвіду, знань та компетенції щодо туризму в регіоні, роблячи висновки та ставить одну лінгвістичну оцінку по кожному регіону  $R$  щодо перспектив швидкого зростання туристичного руху, з терм-множини  $L = \{l_1; l_2; l_3; l_4; l_5\}$ .

Таким чином, для оцінювання рівня щодо доцільності фінансування у розвиток туристичної інфраструктури, маємо наступні вхідні дані:  $I_1(\Xi_{R_1}; L(R_1))$ ,  $I_2(\Xi_{R_2}; L(R_2))$ ,  $\dots$ ,  $I_m(\Xi_{R_m}; L(R_m))$ . На основі представлених вхідних даних, необхідно вивести вихідну агреговану оцінку  $f$ , де  $f \in [0; 1]$ . Аналізуючи значення  $f$ , приймається остаточне рішення щодо доцільності фінансування у розвиток туристичної інфраструктури для досліджуваних регіонів  $R$ .

Для розв'язку сформульованої задачі скористаємось моделлю п'ятишарової нейро-нечіткої мережі типу Takagi-Sugeno-Kang [13]. Далі покроково представляється прогнозна модель оцінювання рівня доцільності фінансування у розвиток туристичної інфраструктури.

*1-й-крок*

На першому кроці виконується операція фазифікація, яка кожному вхідному значенню  $I_g(\Xi_{R_g}; L(R_g))$ ,  $g = \overline{1, m}$  ставить у відповідність значення функції належності. Для цього пропонується наступний підхід. Розглядається термножина лінгвістичних змінних  $L = \{l_1; l_2; l_3; l_4; l_5\}$  у вигляді трикутних функцій належності на числовому проміжку  $[0; 1]$ . Де:

$l_1$  = “низькі перспективи швидкого зростання туристичного руху в регіоні”;

$l_2$  = “перспективи швидкого зростання туристичного руху в регіоні нижче середнього”;

$l_3$  = “середні перспективи швидкого зростання туристичного руху в регіоні”;

$l_4$  = “перспективи швидкого зростання туристичного руху в регіоні вище середнього”;

$l_5$  = “високі перспективи швидкого зростання туристичного руху в регіоні”.

Шляхом експериментальних досліджень на реальних даних Закарпатської, Львівської та Івано-Франківської областей отримано розбиття лінгвістичних змінних на числовому проміжку  $[0; 1]$ :  $l_1 \in [0; 0,2]$ ,  $l_2 \in [0,1; 0,4]$ ,  $l_3 \in [0,2; 0,6]$ ,  $l_4 \in [0,4; 0,8]$ ,  $l_5 \in [0,6; 1]$ .

Далі вводиться змінна  $\vartheta_g$ , що дозволяє коригувати оцінку відносно впевненості експерта щодо присвоєння ним оцінки:

$$\vartheta_g = I_g(\Xi_{R_g}; L(R_g)) = \begin{cases} 0,1 \cdot \Xi_{R_g} & \text{якщо } R_g \in l_1; \\ 0,2 \cdot \Xi_{R_g} & \text{якщо } R_g \in l_2; \\ 0,4 \cdot \Xi_{R_g} & \text{якщо } R_g \in l_3; \\ 0,6 \cdot \Xi_{R_g} & \text{якщо } R_g \in l_4; \\ 0,8 \cdot \Xi_{R_g} & \text{якщо } R_g \in l_5. \end{cases}, \quad g = \overline{1, m}. \quad (7)$$

Для фазифікація даних обчислюються значення функцій належності наступним чином [13]:

$$\mu_g^{l_1} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \vartheta_g \leq 0, \\ 10\vartheta_g, & \text{якщо } 0 < \vartheta_g \leq 0,1, \\ 2 - 10\vartheta_g, & \text{якщо } 0,1 < \vartheta_g < 0,2, \\ 0, & \text{якщо } \vartheta_g \geq 0,2. \end{cases}; \quad (8)$$

$$\mu_g^{l_2} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \vartheta_g \leq 0,1, \\ 10\vartheta_g - 1, & \text{якщо } 0,1 < \vartheta_g \leq 0,2, \\ 2 - 5\vartheta_g, & \text{якщо } 0,2 < \vartheta_g < 0,4, \\ 0, & \text{якщо } \vartheta_g \geq 0,4. \end{cases}; \quad (9)$$

$$\mu_g^{l_3} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \vartheta_g \leq 0,2, \\ 5\vartheta_g - 1, & \text{якщо } 0,2 < \vartheta_g \leq 0,4, \\ 3 - 5\vartheta_g, & \text{якщо } 0,4 < \vartheta_g < 0,6, \\ 0, & \text{якщо } \vartheta_g \geq 0,6. \end{cases}; \quad (10)$$

$$\mu_g^{l_4} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \vartheta_g \leq 0,4, \\ 5\vartheta_g - 2, & \text{якщо } 0,4 < \vartheta_g \leq 0,6, \\ 4 - 5\vartheta_g, & \text{якщо } 0,6 < \vartheta_g < 0,8, \\ 0, & \text{якщо } \vartheta_g \geq 0,8. \end{cases}; \quad (11)$$

$$\mu_g^{l_5} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \vartheta_g \leq 0,6, \\ 5\vartheta_g - 3, & \text{якщо } 0,6 < \vartheta_g \leq 0,8, \\ 5 - 5\vartheta_g, & \text{якщо } 0,8 < \vartheta_g < 1, \\ 0, & \text{якщо } \vartheta_g \geq 1. \end{cases} \quad (12)$$

В результаті процесу фазифікації отримуються наступні функції:

$$\mu_g^1 = \begin{cases} \mu_g^{l_1}, & \text{якщо } R_g \in l_1; \\ \mu_g^{l_2}, & \text{якщо } R_g \in l_2; \\ \mu_g^{l_3}, & \text{якщо } R_g \in l_3; \\ \mu_g^{l_4}, & \text{якщо } R_g \in l_4; \\ \mu_g^{l_5}, & \text{якщо } R_g \in l_5. \\ \mu_g^2 = \bar{\Xi}_{Rg}. \end{cases} \quad (13)$$

Причому  $\mu_g^1 \neq 0$ ;  $\mu_g^2 \neq 0$ ,  $g = \overline{1, m}$ . В протилежному випадку подальші обчислення не мають змісту.

Таким чином, у нейронах першого шару розкривається суб'єктивність експертних думок, які стають нормовані та порівнювані.

*2-й-крок*

На наступному кроці відбувається агрегація рівнів належності. Він складається з  $m$  мультиплікативних вузлів і формує радіально базисні активаційні функції [13]:

$$\begin{cases} \mu_1 = \prod_{g=1}^m \mu_g^1, \\ \mu_2 = \prod_{g=1}^m \mu_g^2. \end{cases} \quad (14)$$

Де  $\mu_1, \mu_2$  агреговані рівні належності на 2 шарі.

*3-й-крок*

На третьому кроці відбувається навчання. Даний шар нейро-мережі складається із синаптичних ваг  $w_1, w_2$ . Ваги обчислюються в процесі навчання нейро-нечіткої мережі на реальних даних прикладної задачі. Іншими словами — це параметричний шар, в якому адаптації підлягають лінійні ваги.

У загальному випадку для глибокого навчання синаптичні ваги представляються у вигляді многочленів:

$$\begin{cases} w_1 = w_0^1 + \sum_{g=1}^m w_g^1 x_g, \\ w_2 = w_0^2 + \sum_{g=1}^m w_g^2 x_g. \end{cases} \quad (15)$$

Для проведеного дослідження було здійснено глибоке навчання на реальних даних [14], щоб визначити значення синаптичних ваг  $w_1, w_2$ . При цьому, згідно початкових умов експерт (група експертів) вважається компетентний, а його висновки близькі до істини. В якості експертів виступали автори статті. У результаті проведеного експерименту отримано наступні значення синаптичних ваг:

$$w_1 = \alpha; \quad w_2 = \alpha + 0,051. \quad (16)$$



Де

$$\alpha = \begin{cases} 0, & u_2 \leq 0; \\ u_2/0,226, & 0 < u_2 < 0,226; \\ 1, & u_2 > 0,226. \end{cases} \quad u_2 = \mu_1 + \mu_2.$$

В даному підході, говорити про адекватність навчання, а отже і отримання вихідної оцінки, можливо лише у випадку, коли згідно початкових умов експерти компетентні. В протилежному випадку, отримані ваги будуть свідчити про рівень компетентності експертної групи.

*4-й-крок*

Четвертий крок представляє собою шар нейро-мережі, що утворений двома модулями сумування і обчислює суми вихідних сигналів другого і третього шарів [13]:

$$\begin{cases} u_1 = w_1\mu_1 + w_2\mu_2 = w_1 \prod_{g=1}^m \mu_g^1 + w_2 \prod_{g=1}^m \mu_g^2, \\ u_2 = \mu_1 + \mu_2 = \prod_{g=1}^m \mu_g^1 + \prod_{g=1}^m \mu_g^2. \end{cases} \quad (17)$$

*5-й-крок*

Відбувається нормалізація, в результаті якої формується вихідний сигнал для виведення рівня доцільності фінансування у розвиток туристичної інфраструктури:

$$f = \frac{u_1}{u_2}. \quad (18)$$

Таким чином, відбувається дефазифікація даних та отримується  $f \in [0; 1]$  — кількісна оцінка рівня щодо доцільності фінансування у розвиток туристичної інфраструктури з використанням досвіду, знань та компетенцій експертів стосовно перспектив швидкого зростання туристичного руху в регіоні. Значення рівня можна характеризувати наступним чином. Якщо оцінка прямує до 1 — це означає, що тренд розвитку та якості туристичної інфраструктури регіону зростає, учасники туристичного руху задоволені послугами, туристичний потік з кожним роком буде збільшуватися, тому вкладені кошти у проекти розвитку туристичних об'єктів регіону швидко у майбутньому окупляться.

Розроблена модель підвищує точність та об'єктивність оцінювання, оскільки з одного боку використовує кількісні оцінки рівня якості туризму деякого регіону, а з іншого використовує досвід, знання та компетенції експертів стосовно перспектив швидкого зростання туристичного руху в регіоні.

**4. Результати дослідження.** Результати дослідження були верифіковані та апробовані на реальних даних, що збиралися з жовтня по грудень 2023 року, від 327 респондентів учасників туристичного руху в Закарпатській, Львівській та Івано-Франківській областях [14]. З метою відкритості даних, всі дані та обчислення, що стосуються даного дослідження представлені авторами у відкритому доступі [14]. Респонденти повинні були заповнити дослідницьку анкету, що була націлена на вивчення ставлення туристичного досвіду у різних вибраних сферах. Респонденти висловитися щодо вражень про відвідувані регіони за період з 2020 до 2023 років. У загальному дослідницька анкета містила 320 питань, які були об'єднані у 16 груп. Хочемо зауважити, що отриманий набір даних відповідає всім вимогам формування статистичної вибірки даних,

причому респонденти відібралися у відповідності демографічним вимогам та охоплювали повну множину елементів досліджуваної проблематики.

Оцінювання здійснюється на основі всіх даних. У якості експерименту наводяться приклади оцінювання на фрагментах даних певних регіонів.

Нехай, для ілюстрації моделі прогнозування рівня туристичного руху вибраного регіону —  $M_1$ , наприклад, наводиться Закарпатська область. Тут, на основі реальних наборів даних було проведено дослідження та експертно оцінено доступність регіону та відповідно рівень туристичного руху в різні роки 2020 та раніше (45 експерти), 2021 (40 експертів), 2022 (34 експертів), 2023 (90 експерти).

Вхідні дані, що обумовлюють рівень задоволеності подорожі відносно очікуваного та реального досвіду учасниками туристичного руху, які позначаються оцінками  $m_R$  представлені у базі даних [14], у розрізі по різних роках.

Вхідні кількісні оцінки рівня туристичного руху відносно інфраструктури та доступності Закарпатської області, наступні:  $m_R(2020) = 0,808$ ;  $m_R(2021) = 0,794$ ;  $m_R(2022) = 0,791$ ;  $m_R(2023) = 0,887$ .

Здійснимо прогнозу аналітику рівня туристичного руху відносно інфраструктури та доступності застосовуючи парну лінійну регресію (2), а значення коефіцієнтів  $a$ ,  $b$  обчислюються методом найменших квадратів (3) та (4):  $b = 0,022$ ,  $a = -43,65$ , тоді регресійне рівняння буде мати вигляд  $Y(\varepsilon) = -43,65 + 0,022\varepsilon$ .

Маючи рівняння лінійної регресії, перш за все перевіримо правильність прогнозу на наявних даних. Для цього в отримане рівняння підставимо рік 2023:  $Y(2023) = -43,65 + 0,022 \cdot 2023 = 0,856$ . Бачимо, що прогнозоване значення близьке до реального, з наближеною похибкою 3% ( $0,887 - 0,856 = 0,031$ ), тому рівняння може бути застосоване для прогнозування майбутніх періодів. Наприклад, для років 2024–2026 маємо наступні вихідні прогнозовані оцінки рівня туристичного руху відносно інфраструктури та доступності Закарпатської області:  $m_R(2024) = 0,878$ ;  $m_R(2025) = 0,9$ ;  $m_R(2026) = 0,922$ .

Як видно з динаміки, можемо зробити висновок, що Закарпатська область має позитивну динаміку щодо інфраструктури, зовнішньої та внутрішньої доступності в пункті призначення, при цьому реальний позитивний досвід буде переважати очікуваний.

Продовжуючи експерименти, проілюструємо обчислення за допомогою розробленої гібридної нечіткої моделі оцінювання рівня якості туризму в регіоні —  $M_2$ .

Наприклад, вибрано наступні райони: Берегівський (Закарпатська область); Калуський (Івано-Франківська область); Львівський (Львівська область); Рахівський (Закарпатська область); Хустський (Закарпатська область). Прогнозований рівень задоволеності подорожі відносно очікуваного та реального досвіду на 2024 рік.

Нехай системний аналітик терм-множину лінгвістичних змінних  $\Delta$  інтерпретує на числовому проміжку  $[0; 1]$ , де  $\Delta_1 \in [0; 0,2]$ ,  $\Delta_2 \in [0,2; 0,4]$ ,  $\Delta_3 \in [0,4; 0,6]$ ,  $\Delta_4 \in [0,6; 0,8]$ ,  $\Delta_5 \in [0,8; 1]$ . Далі аналітики висловили свої лінгвістичні міркування  $\Delta$  щодо якості туристичних послуг та розвитку туризму для відповідного регіону. Здійснюється мультиплікація для отримання оцінок рівня якості туризму регіону за допомогою характеристичної функції (6). Вхідні дані та ре-

зультати обчислень представлені у табл. 1.

Таблиця 1.

Вхідні дані по вибраним регіонам

Райони	Прогнозні оцінки	Міркування аналітиків	Вихідна кількісна оцінка
Берегівський	0,823	$\Delta_3$	0,494
Калуський	0,78	$\Delta_4$	0,624
Львівський	0,925	$\Delta_5$	0,925
Рахівський	0,829	$\Delta_3$	0,497
Хустський	0,785	$\Delta_4$	0,628

**5. Висновки та перспективи подальших досліджень.** У роботі побудована модель підтримки прийняття рішень щодо доцільності фінансування у розвиток туристичної інфраструктури. Інноваційна модель підвищує ступень обґрунтованості прийняття управлінських рішень щодо доцільності фінансування у розвиток туристичної інфраструктури оцінюваних регіонів. Вона базується на прогнозованій оцінці рівня туристичного руху відносно інфраструктури та доступності досліджуваних регіонів, думок експертів щодо рівня якості туристичних послуг та розвитку туризму, а також міркуваннях експертів стосовно перспектив швидкого зростання туристичного руху в регіоні.

В основу дослідження покладений сучасний математичний апарат, а саме теорія нечітких множин, регресійний аналіз, системний підхід, інтелектуальний аналіз знань та нейро-нечіткі мережі, що в сукупності дозволяють підвищити ступінь обґрунтованості остаточних управлінських рішень. Цінність моделі є те, що вона з одного боку поєднує кількісні прогнозовані оцінки рівня туристичного руху відносно інфраструктури та доступності досліджуваних регіонів, отримані за допомогою аналізу реальних даних, а з іншого, експертні висновки щодо рівня якості туристичних послуг та перспектив швидкого зростання туристичного руху в регіоні.

На основі вихідної оцінки підвищується ступінь обґрунтованості прийняття управлінських рішень щодо доцільності фінансування інвесторами у розвиток туристичної інфраструктури, вибору найкращої комбінації регіонів, наприклад для мережевого бізнесу, або органам державної влади щодо підтримки окремих регіонів для зменшення розриву розвитку туризму.

Подальше дослідження проблематики вбачаємо в розробленні програмного забезпечення у вигляді веб-платформи, на основі розробленої моделі підтримки прийняття рішень щодо доцільності фінансування у розвиток туристичної інфраструктури. Таке програмне забезпечення буде корисним інструментом для: підтримки прийняття рішень щодо фінансування у розвиток туристичної інфраструктури; органів державної влади з метою підтримки окремих регіонів для зменшення розриву розвитку туризму; вибору найкращої комбінації регіонів, для відкриття мережевого бізнесу та інше.

#### Список використаної літератури

1. Wenshun Lv., Park Ju H., Junwei Lu, Runan Guo. Adaptive fuzzy output feedback control for

- a class of uncertain nonlinear systems in the presence of sensor attacks. *Journal of the Franklin Institute*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfranklin.2022.10.047>.
2. Chandrika K. Intelligent sampling for surrogate modeling, hyperparameter optimization, and data analysis. *Machine Learning with Applications*. 2022. Vol. 9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2022.100373>
  3. Paulo Vitor de Campos Souza. Fuzzy neural networks and neuro-fuzzy networks: A review the main techniques and applications used in the literature. *Applied Soft Computing*. 2020. Vol. 92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106275>
  4. Zhang R., Tao J. A nonlinear fuzzy neural network modeling approach using an improved genetic algorithm. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 2018. Vol. 65, No. 7. P. 5882–5892.
  5. Stoffelen A., Vanneste D. Tourism and cross-border regional development: insights in European contexts. *European Planning Studies*. 2017. Vol. 25, No. 6. DOI: <https://doi.org/10.1080/09654313.2017.1291585>
  6. Rezvani M., Nickravesh F., Astaneh A. D., Kazemi N. A risk-based decision-making approach for identifying natural-based tourism potential areas. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*. 2022. Vol. 37. P. 1013–1033. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jort.2021.100485>
  7. Reisenwitz T. H., Fowler J. G. Information Sources and the Tourism Decision-making Process: An Examination of Generation X and Generation Y Consumers. *Global Business Review*. 2019. Vol. 20, No. 6. P. 1372–1392. DOI: <https://doi.org/10.1177/0972150919848938>
  8. Stylos N. Technological evolution and tourist decision-making: a perspective article. *Tourism Review*. 2020. Vol. 75, No. 1. P. 273–278. DOI: <https://doi.org/10.1108/TR-05-2019-0167>
  9. Della Lucia M. Economic performance measurement systems for event planning and investment decision making. *Tourism Management*. 2013. Vol. 34. P. 91–100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2012.03.016>
  10. Ilban M. O., Yildirim H. H. Determination of tourism activities of the world's best tourism destinations using the multi-criteria decision-making method. *Cogent Social Sciences*. 2017. Vol. 3, No. 1. DOI: <https://doi.org/10.35666/25662880.2015.1.521>
  11. Поліщук І. В., Поліщук В. В., Повханіч В. І. Нечітка модель оцінювання рівня туристичного руху щодо інфраструктури та доступності. *Наукові записки. Технічні науки*. 2023. Т. 66, № 1. С. 104–116. DOI: <https://doi.org/10.32403/1998-6912-2023-1-66-104-116>
  12. James G. MacKinnon. Fast cluster bootstrap methods for linear regression models. *Econometrics and Statistics*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecosta.2021.11.009>
  13. Маляр М. М., Поліщук А. В., Поліщук В. В., Шаркаді М. М. Нейро-нечітка модель багатокритеріального оцінювання. *Радіоелектроніка, інформатика, управління. Запоріжжя : ЗНТУ*, 2019. С. 83–91. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2019-4-8>
  14. Дані 327 респондентів для оцінювання рівня доцільності фінансування у розвиток туристичної інфраструктури. URL: [https://docs.google.com/spreadsheets/d/13ag2i1OccJOGS3\\_MF6RqDSEWS-hyooEP/edit?usp=sharing&ouid=110688046638619396256&rtfpof=true&sd=true](https://docs.google.com/spreadsheets/d/13ag2i1OccJOGS3_MF6RqDSEWS-hyooEP/edit?usp=sharing&ouid=110688046638619396256&rtfpof=true&sd=true) (дата звернення: 02.02.2024).

**Polishchuk I. V., Durnyak B. V.** Mathematical model of decision-making support regarding the suitability of financing in the development of tourist infrastructure.

Research has been carried out on the actual task of developing a mathematical model to support decision-making regarding the feasibility of financing the development of tourist infrastructure, based on the predicted assessment of the level of tourist traffic concerning the infrastructure and accessibility of the studied regions, the opinions of experts regarding the level of quality of tourist services and the development of tourism, as well as the opinions of experts regarding the prospects of rapid growth of tourist traffic in the region. The research is based on a modern mathematical apparatus, namely the theory of fuzzy sets, regression analysis, systematic approach, intellectual analysis of knowledge, and neuro-fuzzy networks, increasing the validity of final management decisions. The value of the model is that, on the one hand, it combines quantitative estimates of the level of tourist traffic about the infrastructure and accessibility of the studied regions, obtained through

the analysis of real data, and on the other hand, expert conclusions on the level of quality of tourist services and the prospects for the rapid growth of tourist traffic in the region.

Based on the initial assessment, the degree of reasonableness of management decision-making regarding the practicality of financing by investors in the development of tourism infrastructure, the choice of the best combination of regions, for example for network business, or the support of individual regions to reduce the gap in tourism development is increased. Further research of the problem can be seen in the developed software in the form of a web platform, based on the developed decision support model regarding the feasibility of financing the development of tourist infrastructure.

**Keywords:** hybrid model, decision-making, multi-criteria evaluation, fuzzy sets, tourist infrastructure, sustainable development of regions.

## References

1. Wenshun, Lv., Park, Ju H., Junwei, Lu, & Guo, R. (2022). Adaptive fuzzy output feedback control for a class of uncertain nonlinear systems in the presence of sensor attacks. *Journal of the Franklin Institute*. <https://doi.org/10.1016/j.jfranklin.2022.10.047>
2. Chandrika, K. (2022). Intelligent sampling for surrogate modeling, hyperparameter optimization, and data analysis. *Machine Learning with Applications*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2022.100373>
3. Paulo Vitor de Campos Souza. (2020). Fuzzy neural networks and neuro-fuzzy networks: A review the main techniques and applications used in the literature. *Applied Soft Computing*, 92. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106275>
4. Zhang, R., & Tao, J. (2018). A nonlinear fuzzy neural network modeling approach using an improved genetic algorithm. *IEEE Trans. Ind. Electron*, 65(7). 5882–5892.
5. Stoffelen, A., & Vanneste, D. (2017). Tourism and cross-border regional development: insights in European contexts. *European Planning Studies*, 25(6). <https://doi.org/10.1080/09654313.2017.1291585>
6. Rezvani, M., Nickravesh, F., Astaneh, A. D., & Kazemi, N. (2022). A risk-based decision-making approach for identifying natural-based tourism potential areas. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 37, 1013–1033. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2021.100485>
7. Reisenwitz, T. H., & Fowler, J. G. (2019). Information Sources and the Tourism Decision-making Process: An Examination of Generation X and Generation Y Consumers. *Global Business Review*, 20(6), 1372–1392. <https://doi.org/10.1177/0972150919848938>
8. Stylos, N. (2020). Technological evolution and tourist decision-making: a perspective article. *Tourism Review*, 75(1), 273–278. <https://doi.org/10.1108/TR-05-2019-0167>
9. Della Lucia, M. (2013). Economic performance measurement systems for event planning and investment decision making. *Tourism Management*, 34, 91–100. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2012.03.016>
10. Ilban M. O., & Yildirim, H. H. (2017). Determination of tourism activities of the world's best tourism destinations using the multi-criteria decision-making method. *Cogent Social Sciences*, 3(1). <https://doi.org/10.35666/25662880.2015.1.521>
11. Polishchuk, I. V., Polishchuk, V. V., & Povkhanych, V. I. (2023). A fuzzy model for assessing the level of tourist traffic in relation to infrastructure and accessibility. *Scientific papers. Technical sciences*, 66(1), 104–116. <https://doi.org/10.32403/1998-6912-2023-1-66-104-116>
12. James, G. MacKinnon. (2021). Fast cluster bootstrap methods for linear regression models. *Econometrics and Statistics*, <https://doi.org/10.1016/j.ecosta.2021.11.009>
13. Malyar, M. M., Polishchuk, A. V., Polishchuk, V. V., & Sharkadi, M. M. (2019). Neuro-fuzzy multicriteria assessment model. *Radio electronics, informatics, management*. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2019-4-8>
14. Data from 327 respondents for assessing the level of feasibility of financing the development of tourist infrastructure. Retrieved from [https://docs.google.com/spreadsheets/d/13ag2i1OccJOGS3\\_MF6RqDSEWS-hyooEP/edit?usp=sharing&oid=110688046638619396256&rtfpof=true&sd=true](https://docs.google.com/spreadsheets/d/13ag2i1OccJOGS3_MF6RqDSEWS-hyooEP/edit?usp=sharing&oid=110688046638619396256&rtfpof=true&sd=true)

Одержано 02.02.2024